65-78, 2002

5 利用遙測估算農作物蒸發散量之研究

鍾譯靚[1] 劉說安[1] 李天浩[2] 梁隆鑫[1] 楊純明[3] 申雍[4]
劉振榮[1] 林唐煌[1]

[1] 國立中央大學太空及遙測研究中心
[2] 國立台灣大學土木工程研究所
[3] 行政院農業委員會農業試驗所農藝組
[4] 國立中興大學土壤環境科學系
E-mail:yueian@csrsr.ncu.edu.tw

摘 要 －－－－－－－－－－－－－－－－－－－－－－－－－ 66
壹、前　言 －－－－－－－－－－－－－－－－－－－－－－ 67
貳、理論與基礎 －－－－－－－－－－－－－－－－－－－－ 67
參、實例分析 －－－－－－－－－－－－－－－－－－－－－ 71
肆、結論與建議 －－－－－－－－－－－－－－－－－－－－ 76
伍、引用文獻 －－－－－－－－－－－－－－－－－－－－－ 76

5 利用遙測估算農作物蒸發散量之研究

鍾譯靚[1] 劉說安[1] 李天浩[2] 梁隆鑫[1] 楊純明[3] 申雍[4]
劉振榮[1] 林唐煌[1]

[1] 國立中央大學太空及遙測研究中心
[2] 國立台灣大學土木工程研究所
[3] 行政院農業委員會農業試驗所農藝組
[4] 國立中興大學土壤環境科學系
E-mail:yueian@csrsr.ncu.edu.tw

摘 要

本研究嘗試以Roerink等人(2000)建立的衛星遙測估算旱作蒸發散量S-SEBI(Simplified Surface Energy Balance Index)模式，應用於估計美國SGP'97試區的熱通量和蒸發散量，應用時加上大氣校正模式，以及由衛星影像作土地利用分類。並對台中霧峰農試所2000年一期作水稻田利用SPOT衛星多光譜資料測試估計效果。在SGP'97試區方面，利用地面實測資料和衛星觀測建立回歸關係推估的結果較良好；各項能量通量估計值與觀測值間的誤差，大部分源自地表參數的反演誤差，而後者又與大氣校正模式或回歸關係的誤差有關。在農試所水稻田試區方面，由於SPOT衛星影像缺乏熱紅外光波段，因此利用SPOT觀測資料反演的NDVI，透過Landsat衛星影像資料建立的回歸關係推估地表溫度，進而推估能量通量。但因此反演的地表參數間具有某種相關性，且水田的所有反射率—溫度資料均落於蒸發散控制區，不能建立模式所需熱通量分配的圖形。本研究也利用DMSV-1空載多光譜資料分析模式對水稻田的可行性，熱通量分配圖沒有某種程度相關，初估結果合理，大氣影響較小，待未來有測量資料時作進一步的比對分析。

關鍵詞：水稻、蒸發散、衛星、遙測、土壤熱。

壹、前 言

一、問題背景

蒸發散和熱傳等兩項地表過程爲大氣和地下層界面上重要但難以準確估計的變數。因爲物理過程複雜、地表過程同時受到上、下交互影響的關係；同時點和面的蒸發散無法直接量測，以及地面水文氣象觀測系統密度稀疏，使得異質性土地利用的蒸發散和熱平衡無法定量估計。

衛星遙測具有短時間能夠獲取廣大區域資訊的能力。而國內過去大都採用地面量測資料推估水面勢能蒸發散率，再乘以一個作物係數的方式估計蒸發散，農委會農業試驗所八十九年度起的「水稻精準農業(耕)體系之研究」計畫，內容之一即希望發展利用衛星遙測估算水稻蒸發散量。

二、研究目的

根據文獻調查，國外利用衛星觀測資料估計蒸發散的研究多是發展旱田估計模式。其中，Roerink等人(2000)利用大地衛星主題測繪儀(Landsat TM)的多光譜資料，發展S-SEBI估計小區域旱作的蒸發散量和區域熱平衡，得到不錯的結果。本研究的目的即爲引進S-SEBI，對美國SGP'97地表水文試驗試區進行驗證分析。

由於目前台灣未接收Landsat資料，而解析度與LANDSAT相近的只有SPOT衛星，但SPOT並無LANDSAT所具有的熱紅外光段，因此無法反演出S-SEBI的主要參數中的地表溫度。故本研究對台中霧峰農試所水稻田擬以S-SEBI的概念，利用過去收的Landsat TM影像輔助，由SPOT影像反演標準差植被指數NDVI (Normalized Difference Vegetation Index)和地表溫度間的線性關係，並測試推估地表溫度及蒸發散量的可行性。

貳、理論基礎

一、能量平衡及輻射量平衡原理

在能量平衡原理中，忽略植物光合作用所需的能量及熱容量，所以淨輻射量扣除土壤熱通量後的輻射量會被用來加熱地表(可感熱)及蒸發散地表的水分(潛熱)。可感熱爲地面和大氣間的傳導，潛熱則用於土壤蒸發及植物蒸散過程。而地表能量平衡的概念如(1)式：

$$R_n = G_0 + H + \lambda E \tag{1}$$

上式中，R_n爲淨輻射[W/m²]，G_0爲土壤熱通量[W/m²]，H爲可感熱通量(sensible heat flux)[W/m²]，λE爲潛熱通量(latent heat flux)[W/m²]。

在輻射量平衡原理中，淨輻射是所有不同波長的入射、出射能量作用的結果。當入射長、短波輻射扣除地表放射長波輻射及反射短波輻射後，所得輻射量即爲淨輻射量，如(2)式：

$$R_n = K^{\downarrow} - K^{\uparrow} + L^{\downarrow} - L^{\uparrow} \tag{2}$$

上式中，$K^{\downarrow}$爲入射短波輻射量[W/m²]。$K^{\uparrow}$爲地表反射的短波輻射量[W/m²]。$L^{\uparrow}$爲入射長波輻射量，來自雲層及大氣的貢獻[W/m²]。$L^{\uparrow}$爲地表的放射長波輻射量[W/m²]。

二、地表參數的反演

1. 地表反照率

在資源遙測的應用上地表反射率定義爲地表的短波反射率。首先對衛星影像作絕對輻射校正，將LANDSAT的第1~5及第7波段影像灰度值經由輻射校正係數轉成波譜輻射強度。此外，必須考慮因地球曲率使日地相對距離不同而導致入射太陽輻射有所不同，所以反射率須去除此影響而修正爲：

$$r_{p,b} = \frac{\pi L_{s,b} d^2}{K_b^{\downarrow} \cos\theta_z} \quad (3)$$

$$d = 1 + .033\cos\frac{2\pi D}{365} \quad (4)$$

其中$L_{s,b}$爲波譜輻射強度。$r_{p,b}$爲波段行星反射率(planetary reflectance)。$L_{s,b}$爲感測器各波段接收的輻射量。d爲相對日-地距離。$K_b^{\downarrow}$爲大氣層頂入射短波輻射(大氣層外波段太陽輻射)[mW/(cm^2-sr-μm)]。θ_z：太陽天頂角[rad]。爲一年中的日期，從1到365。以上是在不考慮大氣影響下得到的反射率，所以在考慮大氣的散射、折射及吸收的影響下，地表反射率可定義爲：

$$r_{0,b} = \frac{\pi\left(L_{s,b} - L_{p,b}\right) d^2}{L_{b,0}^{\downarrow} \tau_b^{\uparrow} \cos\theta_z} \quad (5)$$

其中$r_{0,b}$爲波段地表反射率。$L_{p,b}$爲因散射造成的大氣路徑輻射[mW/(cm^2-sr-μm)]。$L_{b,0}$爲入射至地面的波段太陽輻射[mW/(cm^2-sr-μm)]。$\tau^{\uparrow}_b$爲向上的波段大氣透射率。可用LOWTRAN估計$L_{p,b}$、$L_{b,0}$、$\tau^{\uparrow}_b$以決定$r_{0,b}$，利用估算的波段地表反射率組合成寬頻的地表反照率如下所示：

$$r_0 = \sum_{b=1}^{7(b\neq 6)} r_{0,b} w_b \quad (6)$$

其中r_0爲地表反照率(surface albedo)。w_b爲波段權重係數。另外若有地面的反射率測值，則可由波段行星反射率$r_{p,b}$組合成寬頻的行星反射率r_p，再和r_0的測值作線性迴歸r_0=a+b×r_p以估算「面」的地表反射率。r_0又可表示爲：

$$r_0 = \frac{r_p - r_a}{\tau_{sw}^2} \quad (7)$$

其中 τ_{sw}^2 爲雙向短波透射率，可分成向上大氣透射率$\tau_{sw}^{\uparrow}$及向下的大氣透射率$\tau_{sw}^{\downarrow}$。r_a爲大氣反照率(atmospheric albedo)。

2.標準差植被指數NDVI

標準差植被指數NDVI以近紅外光和可見紅光段的波段反射率定義。

$$NDVI = \frac{r_{p4} - r_{p3}}{r_{p4} + r_{p3}} \quad (8)$$

其中r_{p4}、r_{p3}分別爲近紅外光、紅光的波段行星反射率。

3.地表放射率

本研究假設已知純植被及純裸土的放射率極值，利用NDVI和放射率間的關係找出極值間的內插函數。在求出NDVI後以NDVI反演地表覆蓋比率再估算出放射率(Valor and Caselles，1996)：

$$\varepsilon_0 = \varepsilon_t P_t + \varepsilon_g P_g + \varepsilon_s P_s + d\varepsilon \quad (9)$$

以地表爲粗糙面的情況而言，下標t、g、s代表粗糙面植被的頂部(top)、地表的底部(ground)及植被的側邊(side)，P_1、P_g及P_s爲感測器觀測到的覆蓋權重部分。而$d\varepsilon$和粗糙地表的內部反射到達感測器的輻射有關，即顯示感測器觀測到的輻射會高於粗糙地形直接放射的輻射。將與植被有關的頂部(top)及側邊(side)考慮植被

覆蓋比率$P_v = P_l + P_s$，便可寫成：

$$\varepsilon_0 = \varepsilon_v P_v + \varepsilon_g (1 - P_v) + d\varepsilon \quad (10)$$

而混合植被與裸土覆蓋地表的NDVI可表示如下所示：

$$NDVI = NDVI_v P_v + NDVI_g (1 - P_v) \quad (11)$$

則植被覆蓋比率可表示為：

$$P_v = \frac{NDVI - NDVI_g}{NDVI_v + NDVI_g} \quad (12)$$

其中P_v為植被的覆蓋比率(可由試區的NDVI分佈圖求得最小值為$NDVI_g$、最大值為$NDVI_v$)。在求 $d\varepsilon$ 時，因Landsat TM(Thematic Mapper)感測器為垂直觀測，沒有觀測粗糙地表的側邊，所以P_s=0，$d\varepsilon$可簡化為：

$$d\varepsilon = (1 - \varepsilon_g)\, \varepsilon_v F (1 - P_v) \quad (13)$$

由於 $d\varepsilon$的求法複雜，因此利用二次式模擬 $d\varepsilon$ ，當P_v=0及Pv_l=1時 $d\varepsilon$ 為0，P_v=0.5時 $d\varepsilon$ 以平均值$\langle d\varepsilon \rangle$表示。因此地表放射率可寫成：

$$\varepsilon_0 = \varepsilon_v P_v + \varepsilon_g (1 - P_v) + 4\langle d\varepsilon \rangle P_v (1 - P_v) \quad (14)$$

上式中ε_v、ε_g分別為純植被及裸土的放射率，分別採用0.985及0.960。$\langle d\varepsilon \rangle$採平均值為0.015(Valor and Caselles，1996)。

4.**地表溫度**

地表溫度是入射(incoming)與放射(outgoing)能量平衡結果的一種狀態變數，可用來估算地表能量通量。對於作物與裸土而言，其放射能量的最大波長位於熱紅外光的波段部份，而衛星遙測對於此波段所進行的觀測即可提供地面溫度的資料。

在Landsat TM第六波段所量測的灰度值經由輻射校正係數可轉換為大氣層頂的波譜長波輻射量$P_{6,TOA}$。

利用普朗克定律(Planck's law)可將此輻射量轉換成大氣層頂輻射溫度T_{sat}(Roerink et al.,1999)。

$$T_{sat} = \frac{1260.56}{\ln\left(\frac{60.776}{L_{6,TOA}} + 1\right)} \quad (15)$$

根據史蒂芬-波茲曼定律(Stefan Boltzmann law)轉換成大氣層頂長波輻射量 $L_{TOA}^{\uparrow}$。

$$L_{TOA}^{\uparrow} = \sigma T_{sat}^4 \quad (16)$$

上式中σ = 5.67×10^{-8} [W/(m^2 K^4)]。以試區測量的地面放射長波輻射和從衛星影像得到的大氣層頂長波輻量作線性回歸如下。

$$L_0^{\uparrow} = a + bL_{TOA}^{\uparrow} \quad (17)$$

計算地表有效溫度 T_0^R[°K]後考慮放射率，再求出地表溫度T_0[°K]如(12)式。

$$T_0^R = \sqrt[4]{L_0^{\uparrow}/\sigma} \quad (18)$$

$$T_0 = \frac{T_0^R}{\varepsilon_0^{1/4}} \quad (19)$$

三、能量平衡項的求法

1.**淨輻射**

當入射長、短波輻射扣除地表放射長波輻射及反射短波輻射後，所得輻射量即為淨輻射量，而輻射量平衡的(2)式可推成下式：

$$R_n = (1-r_0)K^{\downarrow} + L^{\downarrow} - L^{\uparrow} \quad (20)$$

$K^{\downarrow}$爲入射之太陽輻射量，與季節所在緯度及時間有關，一般可由此給定的三項參數直接算出，本研究採測量值。$K^{\uparrow}$爲地表反射的短波輻射量，爲$K^{\downarrow}\times r_0$。

$L^{\uparrow}=\sigma T_0^4$，爲地表的放射長波輻射，但要有地表溫度的配合。爲入射長波輻射，來自雲層及大氣的貢獻，可利用空氣溫度、蒸氣壓估計入射長波輻射量 (Prata,1996)：

$$L^{\downarrow} = e_{sky}\sigma T_a^4$$
$$e_{sky} = \left\{1-(1+xi)\exp\left[-(1.2+3xi)^{0.5}\right]\right\}\sigma T_a^4$$
$$xi = 46.5\left(v_p / T_a\right) \quad (21)$$

e_{sky}上式中爲大氣放射率[-]。v_p爲水汽壓[kpa]。T_a爲氣溫[K]。

2.土壤熱通量

在S-SEBI演算法中採用Bastiaanssen *et al.*(1998)的經驗式。

經驗式(爲地表反照率、地表溫度和NDVI的函數)來預測土壤熱通量。

$$\Gamma = \frac{G_0}{R_n}$$
$$\Gamma = T_0(0.0032+0.0062r_0)(1-0.978NDVI^4) \quad (22)$$

3.潛熱與可感熱

淨輻射量扣除土壤熱通量之後，所剩餘的能量稱爲淨可用能量(net available energy)，其中一部份成爲可感熱H(sensible heat)，造成空氣溫度的變化；一部份則成爲潛熱，用來蒸發土壤層的水分及植被的蒸散作用，也是本研究的目標。

對於非均勻的地表而言，地表溫度與反射率之間存在某種關係，而此關係可應用來決定地表的一些特性(Menenti *et al.*, 1989)。假設淨輻射量與空氣溫度爲常數，一般形式的地表反射率與溫度的關係如圖1所示。

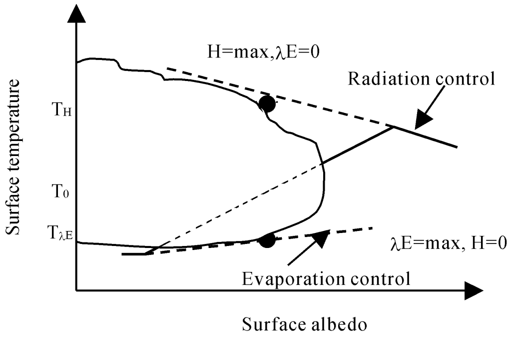

圖1.　地表反射率與地表溫度的關係圖。

由圖1可得知當反射率相當低時，地表溫度幾乎不隨反射率變化，這表示此時的地表爲潮溼地、水面或爲植被密佈區，因此可用能量大部分用來蒸散土壤及植被的水分，溫度變化不明顯。隨著反射率的增加，表示土壤含水量減少，蒸發散量亦跟著減少，淨輻射量大部分則用來加熱地表，因此造成地表溫度隨反射率增加；達到某個臨界點之後，地表溫度隨反射率增加而開始降低，這是因爲反射率的增加導致到達地表的淨輻射量減少，因此用來加熱地表的可用能量也相對減少，地表溫度自然較低。

圖1中上下兩條直線分別代表當蒸發散通量爲0時及當可感熱爲0時，地面溫度與地表反照率的關係，T_H表示當蒸發散爲0時的地表溫度；$T_{\lambda E}$ 表示可感熱爲0時的地表溫度：

$$T_H = a_1 r_0 + b_1 \tag{23}$$

$$T_{\lambda E} = a_2 r_0 + b_2 \tag{24}$$

定義蒸發散比值(evaporative fraction)爲蒸發散能量與可用能量的比值：

$$\Lambda = \frac{\lambda E}{\lambda E + H} = \frac{\lambda E}{R_n - G_0} \tag{25}$$

$$\Lambda = \frac{T_H - T_0}{T_H - T_{\lambda E}} \tag{26}$$

在S-SEBI模式中利用蒸發散能量(潛熱)與可感熱的比率決定潛熱和可感熱。因此由上圖分別求得T_H及$T_{\lambda E}$與r_0的關係式，則可求得Λ，並進一步得到本研究所欲探討的蒸發散量 μI及可感熱，如下所示：

$$H = (1 - \Lambda)(R_n - G_0) \tag{27}$$

$$\lambda E = \Lambda (R_n - G_0) \tag{28}$$

參、實例分析

一、國外試區

本研究試區爲位於美國奧克拉荷馬州(Oklahoma)的SGP試區。採用1997年7月25日的LANDSAT TM衛星影像。

在地表參數方面，利用LOWTRAN 7程式套估計地表溫度和反照率的效果不佳，不過因SGP試區中的CF及EF11試區有短波測值，故可回歸找出地表反照率。但在EF19、EF20有關溫度的地面長波測值爲負不合理，會造成溫度分佈與實際相反，故採用參考文獻上的回歸斜率。

在淨輻射方面，CF和EF19淨輻射估計結果良好，而EF15和EF20高估約22%，但因這二站的地表測值有問題，故無法得知其眞實問題所在，而EF11因爲沒有能量通量測值，故不作比較僅供參考，但EF11爲建立迴歸式的測站之一，所以地表參數估計與測值符合，估計結果如圖2。

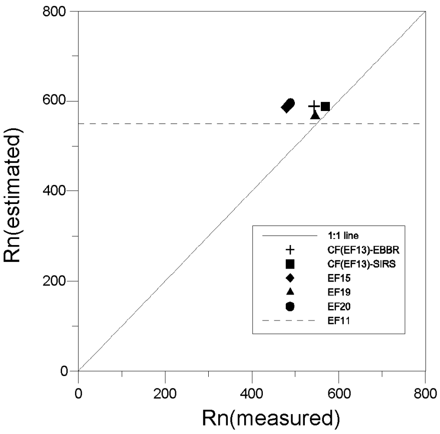

圖2.　SGP試區各測站淨輻射估計值與測值比較。

在土壤熱通量方面，以經驗式估計配合有效觀測值作進一步分析，發現S-SEBI採用的經驗式不適用於本試區，因此本研究採用其經驗式的架構，以結合遙測和地面氣象資料的方法重新估計出一組適用的迴歸係數以估計土壤熱通量，基於在植被稀疏的地表，比例因子Γ'對土壤熱通量和淨輻射的比值影響較大的考量下，首先利用從97/6/18到97/7/25的CF與E15二站淨輻射與土壤熱通量的測值檢定消散因子的迴歸係數。並且考慮地表溫度T0的經驗式考慮成接近原式中的溫度梯度(T0-Ts)，使經驗式估計值能與測值接近1:1，最後考慮到應用於面的熱通量估計，修正的經驗式表示如下式，而測站估計結果如圖3所示。

$$\Gamma = T_0 \left(0.0025 + 0.0182 r_0\right)\left(1 - 0.978 \cdot NDVI\right) \tag{29}$$

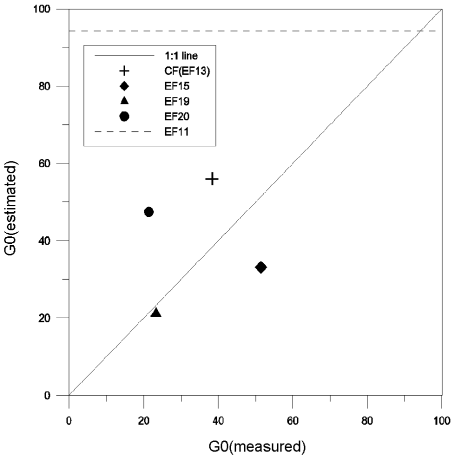

圖3. SGP試區各測站土壤熱通量估計值與測值比較。

由於試區難免有其他植被、裸土或人爲建築摻雜其中，原本S-SEBI並未作分類，而是對整張影像作分析，本研究考慮均值土地利用假設較爲合理，因此對影像先作非監督分類ISODATA法作分類，選出訓練樣區，再以監督分類PARALLELEPIPED法找出與測站土地利用相同的牧草地像元(如圖4)，對牧草像元反演地反照率和地表溫度的關係(如圖5)，其中EF11土地利用爲苜蓿，與其他站不同，故單獨以上述流程找出苜蓿像元另作分析。以牧草像元而言，推估的包絡線如下：

$$T_{\lambda E} = 10.05 + 49.85 r_0 \tag{30}$$

$$T_H = 28.08 - 9.98 r_0 \tag{31}$$

潛熱及可感熱估計結果良好(如圖6、圖7)，EF15高估和EF20的熱通量則因淨輻射高估所致。爲了觀察S-SEBI中可感熱和潛熱的熱通量分配是否可行，則可從潛熱與可獲得能量的比值分分析，則可發現大部分測站能量分配情況接近實際測值。SGP試區牧草像元的蒸發散影像則如圖8所示。

二、國內試區

以2000年4月11日的SPOT衛星影像分析及1996年4月17日的LANDSAT衛星影像輔助分析。並利用2001/4/24的DMSV-1多頻譜系統空載影像作結果的比較。在空載遙測方面，因爲缺乏2001年的測量值，故只提出估計結果對照。

在地表參數方面，以LOWTRAN 7程式套作大氣校正，地表反照率估計值爲0.24，比測值高(測值約爲0.12)，但在作物的反照率合理範圍內，在衛星遙測方面的差異可能是因爲給定的氣象程距和當時的氣象程距有差異，使得穿透率估計誤差影響到地表反照率的估計。

而NDVI因爲是正規化的因子，前述現象不影響，因此衛星遙測反演值(0.63)和測值(0.66)相當吻合。

地表溫度方面，假設地表溫度和NDVI間的關係爲線性，因試區在96/4/17的Landsat影像和00/4/11的SPOT影像NDVI相近，因此利用這二張影像求出地表溫度和NDVI間的線性回歸式如下：

$$T_0 = 26.46 - 4.91 \cdot NDVI \qquad r=0.95 \tag{32}$$

求出上式後，如此衛星遙測估計的地表溫度爲25.21℃，測站葉溫平均爲24.26℃。因爲試區並非矩形，水田會受到旁邊的道路以及行列式種植的陰影效應影響，

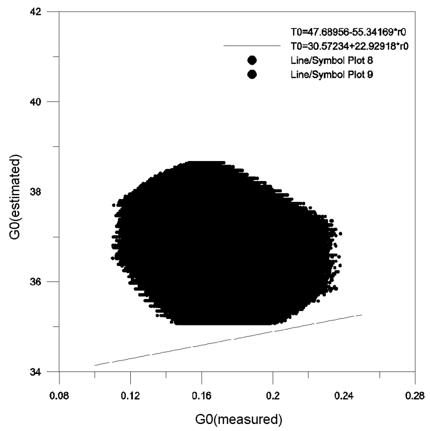

圖4. 以監督分類辨視牧草地像元分類結果。

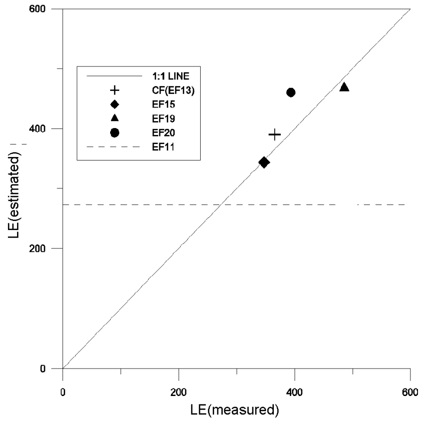

圖7. SGP試區各測站潛熱估計值與測值比較。

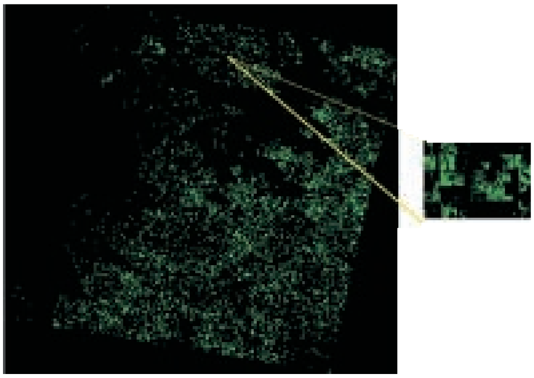

圖5. 以監督分類辨識牧草地像元的分類結果。

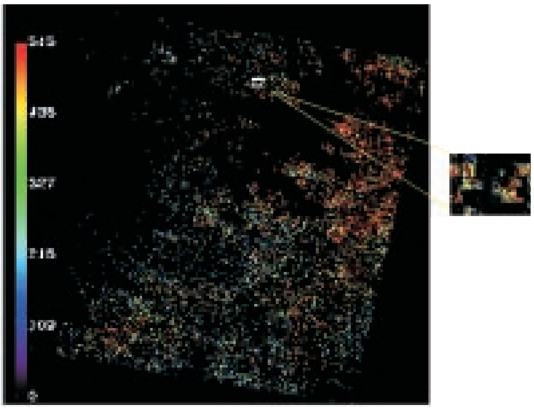

圖8. SGP試區牧草像元的蒸發散影像。

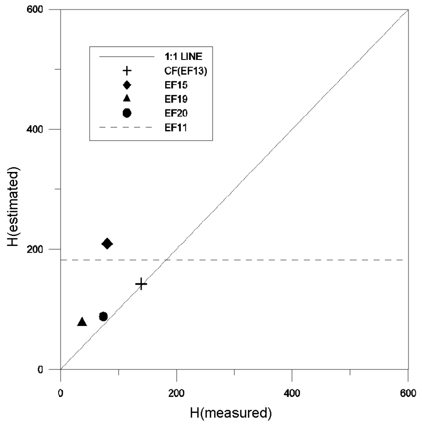

圖6. SGP試區各測站可感熱估計值與測值比較。

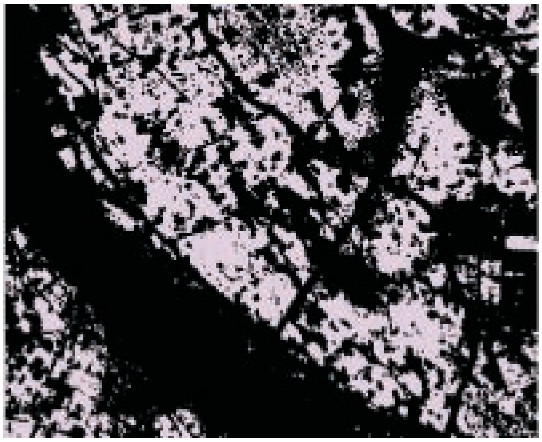

圖9. 辨視出水稻像元的分類結果。

所以必須作如前面所述的分類流程，對衛星影像辨視出水稻田的像元(如圖9)，並繪出地表反照率和地表溫度的關係圖，如此分別推估衛星影像和空載影像及的包絡線結果如(33)、(34)式：

$$T_H = 52.23 - 85.05 r_0 \quad (33)$$

$$T_{\lambda E} = 10.05 + 49.85 r_0 \quad (34)$$

衛星遙測反演出的關係圖分佈呈現有規則的現象，因為NDVI和地表溫度均和可見光及近紅外光光譜有關，故造成地表參數有某種程度的關聯此外，因水田水分接近飽和，所有反射率—溫度資料均落於蒸發散控制區，故在輻射控制包絡線的決定可能有誤差。

在能量通量方面，淨輻射估計值低估約13%(如圖10)，此乃短波輻射項高估所致。可感熱估計則相當近似(如圖11)，潛熱低估則因前述的淨輻射低估所致(如圖12)，致於蒸發散比值衛星遙測估計（0.67）和使用地面測值的Bowen Ration法求出估計值（0.71）近似。

以衛星遙測來看在地表反射率極大值(<0.31)時不符合模式假設現象，本研究試區的反射率並未大於0.31，故顯估熱通量分配尚合理，但以上述估計的關係圖而言，對於「面」的估計則需再探討。

2001年的空載遙測反演的反射率約為0.06，影像是在1200公尺高拍攝，對於其中的大氣校正待未來討論。而空載遙測NDVI反演值為0.76。空載遙測因為沒有熱紅外光光譜，所以也採用（32）式估計，而估計值則為22.72℃。台中站2001年4月的平均氣溫為23.0℃，最高為33.1℃，最低則為17.9℃。地表溫度估計值與氣溫相近。，對空載影像辨視出水稻田的像元(如圖13)，如圖14所示解析度較高的空載影像其反演的關係圖，如此分別推估衛星影像和空載影像及的包絡線結果如(35)、(36)式：

$$T_H = 42.14 - 19.23 r_0 \quad (35)$$

$$T_{\lambda E} = 33.27 + 7.49 r_0 \quad (36)$$

空載遙測資料反演的熱通量分配圖並沒有互相相關的現象，可能是因為航照的範圍較小，相較於衛星影像，其呈現的誤差範圍也較小，而呈現出的關係圖顯示模式可行，但對於輻射控制的包絡線決定還需再探討。將來亦可再探討各種遙測資料來源造成的誤差。而蒸發散比值估計值為0.79，可感熱估計為92.18W/m²，潛熱估計則為462.95 W/m²。圖15、16則為以解析度較高的空載遙測蒸發散「面」的估計結果。

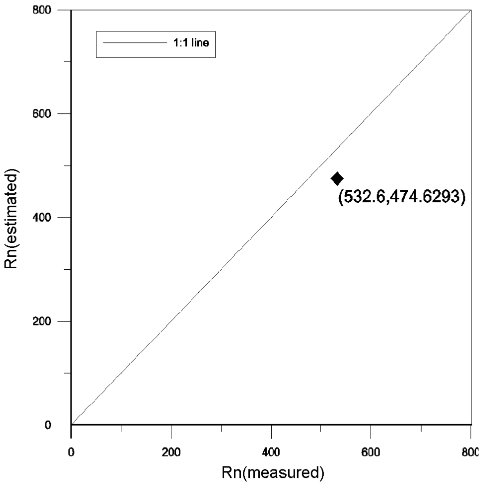

圖10. 農試所試區淨輻射估計值與測值比較。

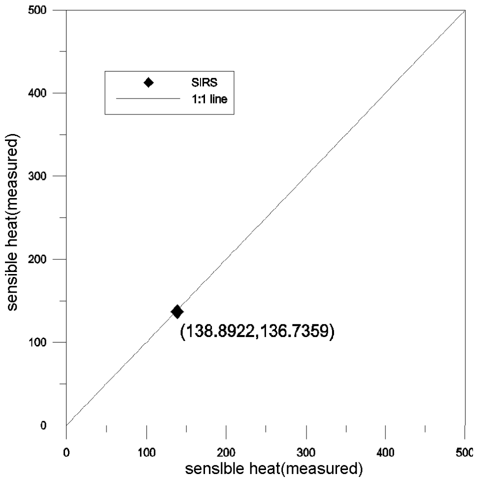

圖11. 農試所試區可感熱。

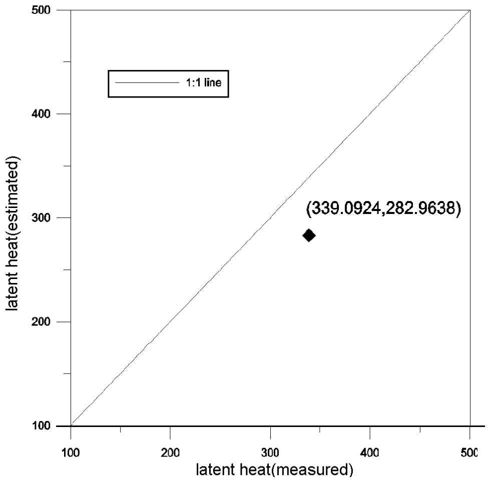

圖12. 農試所試區潛熱。

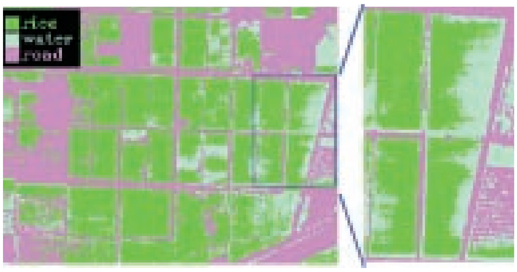

圖13. 對DMSV影像辨視出水稻像元的分類結果。

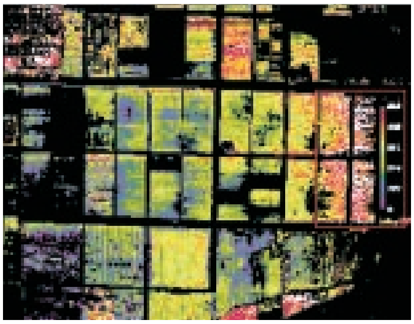

圖15. 水稻像元的蒸發散影像。

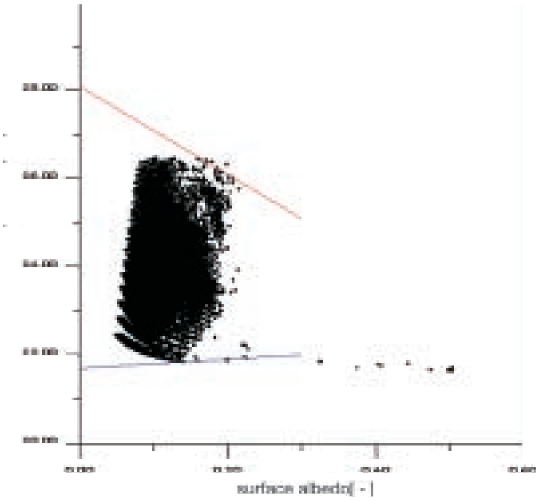

圖14. 以監督分類辨視水稻像元的分類結果。

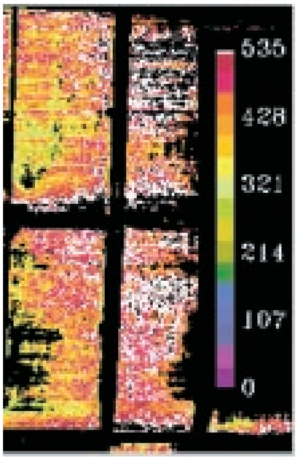

圖16. 農試所試區水稻像元的蒸發散影像。

肆、結論與建議

一、研究結論

1. 對於旱作熱通量估計結果與測值相差不遠，其中估計誤差主要來自地表參數，使用地面觀測資料校正後，能量通量的估計與量測值的差距不大。

2. S-SEBI原模式沒有作影像分類，不適用於某種特定土地利用，本研究將衛星影像分類爲數種均質土地利用，分別建立熱通量分配經驗模式，較合乎建立S-SEBI模式的物理理論，估算結果可以獲得改進。

3. 由Landsat輔助SPOT影像反演出的地表反射率和地表溫度之間具有某種相依性存在，且水田資料理論上落於蒸發控制區域內，繪出的反照率-溫度圖形不完整，且因缺乏水田各種熱通量測值，未來仍待繼續作進一步測試。

4. 利用S-SEBI對DMSV-1空載影像分析可行性，其初估結果合理，尤其空載資料解析度較高，大氣校應的影像也相對較小。

二、建議事項

1. 地表有水體存在時，可能造成反演的NDVI成爲負值，在反演放射率時加入水體的放射率極值作進一步分析。

2. 使用S-SEBI模式分析的試區影像必須同時具有達到蒸發控制和輻射控制的全動態範圍資料，故使用同季節內，包括雨後和乾燥狀況的多張影像資料，建立熱通量分配經驗模式較爲妥適。

3. 進一步利用空載影像與測量資料作比較分析，以探討其多光譜資料的誤差是否在可接受範圍。

4. 若欲應用S-SEBI於水稻田，須利用Landsat等具有熱紅外光段的影像再行測試，若要彌補水稻田的輻射控制資料組，可維持一段時間不灌溉，或是取得水稻收穫期的影像、地表覆蓋狀況爲乾燥裸露土壤，便可繪出輻射控制的包絡線。

伍、引用文獻

1. 葛國平。「衛星山區植被雙向反射特性之研究」，國立中央大學大氣物理研究所碩士論文。
2. Bastiaanssen, W.G.M., M. Menenti, R. A. Feddes, R.A., and A. A. M. Holtslag. 1998. remote sensing surface energy balance algorithm for land (SEBAL) 1.Formulation. Journal of Hydrology 212: 198-212.
3. Menenti, M., W.G.M. Bastiaanssen, D. van Eick and M.A. Abl El Karim. 1989. Linear relationships between surface reflectance and temperature and their application to map evaporation of groundwater. Adv. Space Res. 9(1): 165-176.
4. Menenti, M. and B. J. Choudhury. B.J., 1993. Parameterization of land surface evaporation by means of location dependent potential evaporation and surface temperature range. Proceedings of IAHS conference on Land Surface Processes, IAHS Publ., No. 212, pp.561-568.
5. Roerink, G.J., Z. Su and M. Menenti. 2000. S-SEBI：A simple remote sensing

algorithm to estimate the surface energy balances. Phys. Chem. Earth (B) 25 (2): 147-157.

6. Valor, E. and V. Caselles. 1996. Mapping land surface emissivity from NDVI: Application to European, African, and South American area. Remote Sens. Environ. 57: 167-184.

5 A study on the use of satellite image to estimate evapotranspiration over crop fields

Yi- Ching Chung, [1], Yuei-An Liou[1], Tim Hau Lee[2], Long-Shiu Liang[1], Chwen-Ming Yang[3], Yuan Shen[4], Gin-Rong Liu[1] and Tang-Huang Lin

[1] Center for Space and Remote Sensing Research, National Central University, Chung-Li 320, Taiwan, ROC

[2] Department of Civil Engineering, National Taiwan University, Taipei 106, Taiwan, ROC

[3] Department of Agronomy, Taiwan Agricultural Research Institute, Wufeng, Taichung Hsien 413, Taiwan, ROC

[4] Department of Soil and Environmental Sciences, National Chung Hsing University, Taichung 402, Taiwan,ROC

E-mail:yueian@cstsr.ncu.edu.tw

ABSTRACT

This work intends to implement the Simplified Surface Energy Balance Index (S-SEBI) model by Roerink et al.(2000) to estimate the heat fluxes during The Southern Great Plain (SGP'97 in short) Hydrological Experiment in 1997. Two additional features are added to the S-SEBI model in the work, performing atmospheric correction by radiative transfer model and land-use classification. Results show that partitioning of heat fluxes is in accordance with the measurement. Main cause of discrepancy is due to inaccurate surface parameter estimates. To estimate evapo-transpiration in rice paddy, surface temperature retrieval is compulsory. Since SPOT image is lack of thermal channel, this work uses the Landsat data to construct the regression function between NDVI and surface temperature. However, it is found that the derived surface temperature is collinear with the SPOT retrieved reflectivity. Also, it is realized that all reflectivity-temperature data of rice paddy should fall in the evaporation-controlled region. Application of satellite data for evaporation estimation in rice paddy requires further research.

Key words： Rice, Evapotranspiration, S-SEBI, SPOT, Landsat, Remote Sensing, Soil heat flux.